

KERNFORSCHUNGSZENTRUM

KARLSRUHE

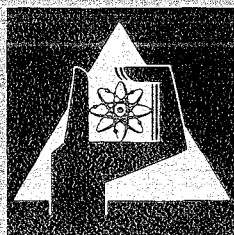
Dezember 1975

KFK 2236

GSF-T57

Abteilung Behandlung radioaktiver Abfälle
Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung
— Institut für Tief Lagerung —

**Endlagerung radioaktiver Abfälle
Jahresbericht 1974**



**GESELLSCHAFT
FÜR
KERNFORSCHUNG M.B.H.**

KARLSRUHE

Als Manuskript vervielfältigt

Für diesen Bericht behalten wir uns alle Rechte vor

GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M. B. H.

KARLSRUHE

GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG MBH KARLSRUHE
GESELLSCHAFT FÜR STRAHLEN- UND UMWELTFORSCHUNG MBH
MÜNCHEN

KFK 2236
GSF-T57

ENDLAGERUNG RADIOAKTIVER ABFÄLLE
JAHRESBERICHT 1974

Abteilung Behandlung Radioaktiver Abfälle, (GfK)
Institut für Tieflagerung (GSF)
Technische Abteilung, Wolfenbüttel
Wissenschaftliche Abteilung, Clausthal-Zellerfeld

W.Bechthold, W.Diefenbacher, H.J.Engelmann, W.Hild, E.Kort-
haus, H.Krause, M.C.Schuchardt, E.Smailos (GfK)
E.Albrecht, H.Kolditz, O.Opp, K.Thielemann (GSF-IFT/TA)
K.Dürr, K.Klarr, K.Kühn, R.Proske, G.Staupendahl, E.-P.Uerpmann
(GSF-IFT/WA)

Kurzfassung

Der vorliegende Bericht ist eine Gemeinschaftsarbeit der Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH und der Gesellschaft für Kernforschung mbH Karlsruhe und gibt einen Überblick über die im Jahre 1974 durchgeführten Arbeiten auf dem Gebiet der Endlagerung radioaktiver Abfälle.

Es wird über die bergmännischen und baulichen Arbeiten berichtet, die im Salzbergwerk Asse bei Remlingen sowohl unter- als auch übertage zur Durchführung kamen und die der Instandsetzung, Erhaltung und Erweiterung des Betriebes entsprechend seinen zukünftigen Aufgaben dienen.

Die Einlagerung von schwachaktiven Abfällen auf der 750 m-Sohle und auch die versuchsweise Einlagerung mittelaktiver Abfallstoffe auf der 490 m-Sohle wurden im Berichtszeitraum fortgeführt. Der bei der GfK entwickelte Sammelabschirmbehälter S 7 V für Transporte von jeweils 7 Stück 200 l-Rollreifenfässern mit mittelradioaktiven Abfällen zur Asse war regelmäßig eingesetzt. Der Einzeltransportbehälter E2 ist als Typ B-Behälter zugelassen und die für seinen Einsatz erforderlichen Ergänzungen an den bestehenden Geräten beschafft.

Der Bericht gibt ferner Auskunft über den augenblicklichen Stand der Forschungsarbeiten sowie deren Resultate. Weiterhin wird über Einlagerungstechniken berichtet, die sich zur Zeit in der Planung befinden.

Disposal of Radioactive Wastes, Annual Progress Report 1974

Abstract

This report is a joint effort of Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH München and Gesellschaft für Kernforschung mbH Karlsruhe, presenting a survey of the work performed in 1974 in the field of disposal of radioactive waste.

The mining and construction work is discussed, which was carried out both underground and above at the ASSE Salt Mine near Remlingen and which was done for repair, maintenance and expansion of operation in accordance with its future purpose.

The disposal of low level wastes on the 750 m-level and the experimental disposal of intermediate level wastes on the 490 m-level were continued in the period under review. The multiple shielded transport container S7V for seven 200 l-drum designed by GfK for shipment of intermediate level wastes to the ASSE, was used regularly. For the single shielded transport container E2 an approval certificate for Type B package design was issued by the BAM. Supplementary equipments for the existing containers were supplied.

Moreover, the report gives information on the present status of research and of its results. Also new storage techniques are reported which are currently in the planning stage.

Inhaltsverzeichnis

1. Vorbemerkung
2. Bergtechnischer Ausbau und bergbaulicher Betrieb des Salzbergwerkes Asse
 - 2.1 Allgemeine Arbeiten untertage
 - 2.2 Baumaßnahmen auf der Liegenschaft Asse
3. Einlagerung von radioaktiven Abfällen
 - 3.1 Schwachaktive Abfälle
 - 3.2 Mittelaktive Abfälle
 - 3.2.1 Versuchseinlagerung
 - 3.2.2 Abgeschirmte Einzeltransportbehälter
 - 3.2.3 Abgeschirmte Sammeltransportbehälter
 - 3.2.4 Einsatzmöglichkeit der Abschirmbehälter
 - 3.3 Hochaktive Abfälle
 - 3.3.1 Planung der Einlagerungstechnik
 - 3.3.2 Temperatur-Versuche
 - 3.3.3 Vorarbeiten für die Einlagerung von AVR-Brennelementen
4. Erstellung einer Prototyp-Kaverne auf der Schachtanlage Asse
5. Beseitigung tritiumhaltiger Abwässer durch Einpressen in poröse Schichten des tiefen Untergrundes
6. Forschungsarbeiten
 - 6.1 Gebirgsmechanische Untersuchungen
 - 6.2 Geologische Untersuchungen
 - 6.3 Hydrogeologische Untersuchungen
 - 6.4 Umgebungsüberwachung
 - 6.5 Sicherheitsstudien
 - 6.6 Risikoanalytische Untersuchungen
7. Literatur
8. Veröffentlichungen

1. Vorbemerkung

Der vorliegende Bericht soll einen Überblick über die wesentlichen Arbeiten vermitteln, die auf dem Gebiet der Endlagerung radioaktiver Abfälle von der Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH München (GSF) zusammen mit der Gesellschaft für Kernforschung mbH Karlsruhe (GfK) im Jahr 1974 durchgeführt worden sind.

Im Rahmen der Aufgabenteilung auf diesem Gebiet bearbeitet die Wissenschaftliche Abteilung des Instituts für Tief- lagerung (WA) die berg- und geowissenschaftlichen Probleme, die Technische Abteilung des Instituts für Tieflagerung (TA) ist für bergtechnische Arbeiten zuständig und betreibt das Salzbergwerk Asse, während die Abteilung Behandlung radioaktiver Abfälle (ABRA) für kerntechnische Studien sowie für die Entwicklung und Erprobung kerntechnischer Einrichtungen für Transport und Einlagerung radioaktiver Abfall- stoffe verantwortlich zeichnet.

Einzelne Teilbereiche werden in Zusammenarbeit mit anderen wissenschaftlichen oder technischen Institutionen bearbeitet, z.B. gebirgsmechanische Untersuchungen mit der Technischen Universität Clausthal, geologische und hydrogeologische Fragen mit der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und dem Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung, Hannover. Ein hydrogeologisches Forschungsprogramm wird ge- meinsam mit dem Institut für Radiohydrometrie der GSF be- arbeitet, an der Umgebungsüberwachung ist das Institut für Strahlenschutz der GSF beteiligt.

Technische Anlagen und Geräte zur Einlagerung und zum Transport von radioaktiven Abfällen werden in Zusammenarbeit mit der Abteilung RBT/PB der GfK entwickelt. Die Temperatur- versuche und die dazugehörigen theoretischen Berechnungen werden gemeinsam mit dem Institut für elektrische Anlagen und Energiewirtschaft, Lehrauftrag Leistungsreaktoren, der Technischen Hochschule Aachen und dem Referat Geothermik der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe Hannover durchgeführt.

Allen Behörden und Institutionen, die bisher durch ihre Mithilfe die Durchführung unserer Arbeiten unterstützt haben, soll auf diesem Wege Dank gesagt werden.

Die Autoren danken schließlich ihren hier nicht namentlich genannten Kollegen, ohne deren Beiträge die in diesem Bericht beschriebenen Arbeiten nicht hätten durchgeführt werden können.

2. Bergtechnischer Ausbau und bergbaulicher Betrieb des Salzbergwerkes ASSE

2.1 Allgemeine Arbeiten untertage

Wie in den Vorjahren waren für die Aufrechterhaltung eines geordneten Betriebsablaufs auch im Berichtsjahr eine Reihe bergmännischer Arbeiten durchzuführen. Dazu gehörten die regelmäßigen Prüfungen und Untersuchungen an den maschinen- und elektrotechnischen Anlagen sämtlicher Seilfahreinrichtungen sowie entsprechende Wartungsarbeiten gemäß den geltenden Bergverordnungen. Im Hauptschacht wurden die Spurlatten im Füllortbereich der 750 m-Sohle gesenkt, um vorhandene Konvergenzen auszugleichen. An Fördergestell und Gegengewicht wurden die Zwischengeschirre zur turnusmäßigen Sicherheitsprüfung ausgewechselt. Mit dem Vortrieb der 176 m langen Sattelrichtstrecke nach Osten auf der 490 m-Sohle ist eine wesentlich kürzere Zufahrt zur Beschickungskammer 8a für mittelaktive Abfälle geschaffen worden. Ebenfalls wurde auf der 490 m-Sohle eine 55 m lange Strecke in Richtung auf den begonnenen Bohrschacht aufgefahren.

Der Vortrieb der Wendelstrecke von der 750 m-Sohle zur 490 m-Sohle erfolgte im Gegenortbetrieb mit einer mittleren Steigung bzw. einem Gefälle von 10 %. Es wurde die von der 750 m-Sohle bereits begonnene Strecke um 1023 lfdm weiter aufgefahren und damit die 616 m-Sohle erreicht. Auf der 490 m-Sohle ist das Gegenort angesetzt und 667 lfdm. bis zur 553 m-Sohle vorgetrieben worden. Bis zum Durchschlag sind noch rund 550 m aufzufahren. Zur Verkürzung der Fahrwege beim Abtransport des beim Vortrieb angefallenen Salzes mußten aus der Wendelstrecke verschiedene Querschläge zu alten Abbaukammern mit einer Gesamtlänge von 176 m aufgefahren werden.

Beraubearbeiten zur Vorbereitung der Einlagerung schwachradioaktiver Abfälle wurden in den Kammern 6, 7, 8, 9 und 10 der 750 m-Sohle durchgeführt. Dazu war in den Kammern 6 und 7 das teleskopierbare Beraubefahrzeug eingesetzt.

Im Rahmen des vorbeugenden Brandschutzes sowie zur besseren Wetterführung wurden hölzerne Einbauten in Blindschacht 1 von der 750 m-Sohle zur 574 m-Sohle entfernt, nachdem auf der 750 m-Sohle die südliche Richtstrecke nach Westen aufgewältigt und nachgerissen worden war. Der Blindschacht 4 ist ebenfalls bis zum Laugespiegel auf der 850 m-Sohle ausgeraubt und mit eisernen Fahrten und Ruhebühnen ausgerüstet worden. Gleichzeitig konnte die Laugeleitung für die Entfernung der Lauge aus dem Grubengebäude ASSE in diesem Schacht montiert werden.

Zur Vereinfachung der Laugenwirtschaft mußte auf der 750 m-Sohle die westliche Sattelstrecke und die Kammer mit dem Laugensammelbecken nachgerissen und erweitert werden. Es wurden 144 m^3 Lauge zur 850 m-Sohle gepumpt.

Auf den Hauptbetriebssohlen sowie in der Schrägstrecke zur 775 m-Sohle sind die Fahrbahnen durch Einbringen von Salzbeton weiter verbessert worden.

Zur Sicherstellung der Wetterführung wurde in den Vortrieben der Wendelstrecke ortsbewegliche Sonderbewetterung eingerichtet.

Um die vermehrt anfallenden Lade- und Transportarbeiten für radioaktive Abfallstoffe und Salzhauwerk bewältigen zu können, wurden zwei weitere Schaufelfahrlader vom Typ L 110 und L 182 sowie ein Gabelstapler für 3,5 t Nutzlast angeschafft.

Die Markscheiderei führte neben den bergbehördlich geforderten Gebirgsbeobachtungsmessungen untertage eine Reihe bergmännisch bedingter Vermessungsarbeiten besonders bei Streckenauffahrungen durch. Dazu gehörte hauptsächlich die Vermessungsarbeit beim Vortrieb der Wendelstrecke. Besonders meßtechnischen Aufwand erforderte die Vorbereitung und der Einbau der Außenverrohrung des Bohrschachtes sowie die Vermessung der Innenverrohrung.

2.2 Baumaßnahmen auf der Liegenschaft ASSE

Wegen der umfangreichen Bauarbeiten auf der Schachtanlage ASSE mußte der Parkplatz auf dem Schachtgelände geräumt und als Er-

satz ein neuer Parkplatz für 80 Pkw unmittelbar vor dem Schachtgelände angelegt werden.

Die Haupttrafostation, der Feuerlöschwasserbehälter sowie die Kfz-Halle wurden vom Staatshochbauamt II in Braunschweig der GSF offiziell übergeben.

Aufgrund der strukturellen Änderungen im Bereich der Tieflagerung ist der Sitz des neuen Instituts für Tieflagerung des Salzbergwerk ASSE bei Remlingen. Dieses macht den Bau eines Mehrzweckgebäudes auf dem Schachtgelände erforderlich. Der für diesen Zweck erforderliche Raumbedarfsplan wurde aufgestellt und wird im Jahre 1975 den zuständigen Behörden zur Genehmigung vorgelegt werden.

In Zusammenarbeit mit der Deutschen Eisenbahn Consulting GmbH in Frankfurt a.M. (DEC), der als Planungsingenieur gleichzeitig die Oberleitung der Bauausführung übertragen ist, wird vom Bundesbahnhof Wendessen zur Schachtanlage ASSE II ein 7,2 km langes Grubenanschlußgleis erstellt. In dem Planungsbereich zwischen den Schachtanlagen ASSE I und II wurden die Baugrunduntersuchungen abgeschlossen und im August 1974 mit den Erdarbeiten für die Herstellung des Geländeeinschnitts und der Dammschüttung sowie dem Bau der erforderlichen Stützmauern begonnen. Wegen der starken Niederschläge mußten die Erdarbeiten bereits im November 1974 unterbrochen werden.

3. Einlagerung von radioaktiven Abfällen

3.1 Schwachaktive Abfälle

Die langfristige Einlagerung schwachaktiver Abfälle wurde reibungslos fortgeführt. Rund 10 600 Fässer sind in den Kammern 12, 11, 10 und 8 der 750 m-Sohle eingelagert worden, so daß nunmehr insgesamt 43 200 Fässer entsprechend rund 9000 m³ schwachradioaktiver Abfälle im Grubengebäude der Schachtanlage ASSE lagern. Die im Vorjahr begonnene Anlieferung von Fässern mit verlorener Betonabschirmung hat im Berichtsjahr zugenommen. Von den eingelagerten Fässern gehörten 1290 Stück zu dieser Kategorie, so daß die Gesamtzahl dieser Behälter nunmehr 2061 beträgt.

Im Zuge der Weiterentwicklung und Verbesserung der Einlagerungstechnik wurde das Einbringen von Fässern mit schwachradioaktiven Abfällen in die Kammern des Salbergwerkes ASSE sowie das dortige Ablagern der Fässer Mitte 1974 verändert. Dafür sind die Kammern 8 und 10 auf der 750 m-Sohle unmittelbar unter der Kammerfirst angefahren und dort Böschungen aus Salzhaufwerk angeschüttet worden. Jeweils 5 bis 10 Fässer werden auf einmal von einem Schaufelfahrlader vom Schacht zur Einlagerungskammer transportiert und dort an der Oberkante der Böschung aus der Ladeschaufel abgekippt (Abb. 1). In zeitlich kurzen Abständen werden die Fässer mit Salzhaufwerk abgedeckt, und die Firste der Kammer gleichzeitig mit dem Vorrücken der Böschung beraubt.

Dieses Verfahren hat folgende Vorteile:

1. Durch die geringe Aufenthaltsdauer wird die Strahlenbelastung des mit der Einlagerung betrauten Personals wesentlich herabgesetzt.
2. Durch das Einbetten in Salzhaufwerk wird die langfristige Sicherheit erhöht.
3. Es sind weniger Beraube- und Planierarbeiten erforderlich. Das Berauben in großen Höhen entfällt ganz.



Abb. 1

Schaufelfahrlader Typ L 182 im Einsatz beim Einlagern von schwachradioaktiven Abfällen.

4. Die Fässer werden bei der Manipulation mit der Ladeschaufel schonender behandelt als beim Hantieren mit dem Faßgreifer.
5. Durch das Abkippen der Fässer auf die Böschung, d.h. in einen nicht begangenen und nicht befahrenen Bereich, wird die Gefahr einer Kontaminationsverschleppung wesentlich herabgesetzt.
6. Die Kammern können vollständig bis unter die Firste gefüllt werden. Dadurch ist eine bessere Raumausnutzung gewährleistet.
7. Wesentliche Steigerung der Einlagerungsleistung.

3.2 Mittelaktive Abfälle

3.2.1 Versuchseinlagerung

Die versuchsweise Einlagerung mittelaktiver Abfälle wurde fortgeführt. Die Anlieferung betrug 119 Fässer (je 200 l), so daß am Jahresende insgesamt 352 Fässer in der Kammer 8a der 511 m-Sohle eingelagert waren.

Die gesamte maschinen- und elektrotechnische Anlage zur Einlagerung mittelaktiver Abfälle in der Beschickungskammer der 490 m-Sohle funktionierte weiterhin einwandfrei.

Beschädigungen an den eingelagerten Abfallfässern sind bisher nicht festgestellt worden, dementsprechend war weder eine Kontamination der Filter in der Abluftanlage noch eine Aktivitätserhöhung der Grubenluft festzustellen.

3.2.2 Abgeschirmte Einzeltransportbehälter

Die Einzeltransportbehälter E 1 mit einer 13 cm dicken Stahlabschirmung waren im Berichtszeitraum auf der ASSE als Umladebehälter für die Entladung des Sammelbehälters S7V eingesetzt. Die Umladung, der Transport durch den Schacht bis zur Beschickungskammer 8a auf der 490 m-Sohle und die Einlagerung konnten reibungslos durchgeführt werden.

Das Zulassungsverfahren für den Einzeltransportbehälter E2 als Typ B-Behälter wurde abgeschlossen. Damit dieser Behälter die innerhalb des Gewichtslimits des Förderschachts von 9,8 t maximal mögliche Abschirmung erhalten konnte, ist er mit einem gegenüber dem Typ E1 veränderten gewichtssparenden Bodenschieber ausgestattet. Zur Anpassung der verschiedenen Schiebersysteme mußten für den ortsfesten Strahlenschutzschieber in der Kammer 8 a Abschirmadapter gefertigt werden. Da die E2-Behälter für eine Übergangszeit auch als Umladebehälter und für den internen Verkehr auf der ASSE vorgesehen sind, mußten auch für den Sammelbehälter S7V Abschirmadapter beschafft werden.

3.2.3 Abgeschirmte Sammeltransportbehälter

Der Transport von mittelaktiven Fässern mit einer Oberflächendosisleistung der Fässer zwischen 20 und 140 rem/h zwischen dem Kernforschungszentrum und ASSE erfolgte mit dem Sammelbehälter S7V mit der Abschirmvariante 3, d.h. 145 mm Stahlguß. Der Behälter konnte im Berichtsjahr ohne Störungen eingesetzt werden, kleinere Reparatur- und Wartungsarbeiten wurden zwischen den einzelnen Transporten durchgeführt. Der Terminplan für Befüllen, Transportieren und Entladen konnte eingehalten werden, so daß der Behälter zweimal wöchentlich verkehren konnte.

3.2.4 Einsatzmöglichkeit der Abschirmbehälter

Zur Bestimmung der mit dem vorhandenen Behältersystem (Verlorene Betonabschirmungen, Einzelbehälter E1 und E2 und Sammeltransportbehälter S7V) möglichen Transporte wurden für die häufigsten Abfallarten und verschiedene γ -Energien die Oberflächendosisleistungen in Abhängigkeit vom Aktivitätsinventar berechnet. Die Abbildungen 2 bis 7 erleichtern die Auswahl der wirtschaftlichsten Verpackung für einen vorgegebenen Abfall.

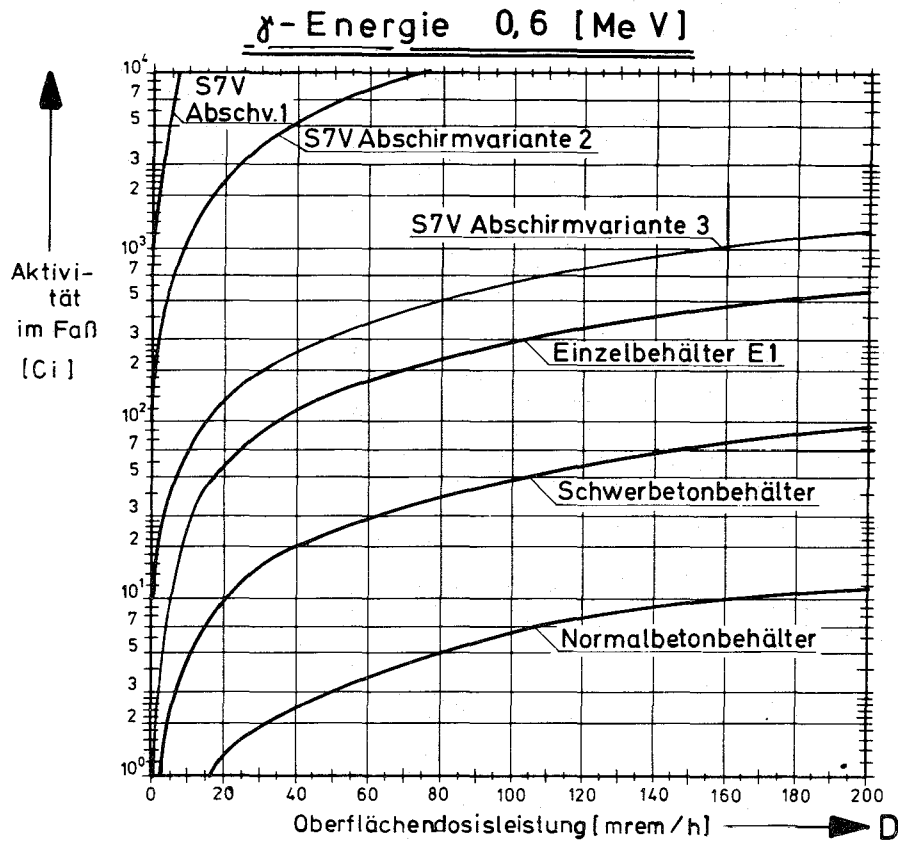


Abb. 2

Faßfixierung:
Beton $\rho = 2,3$

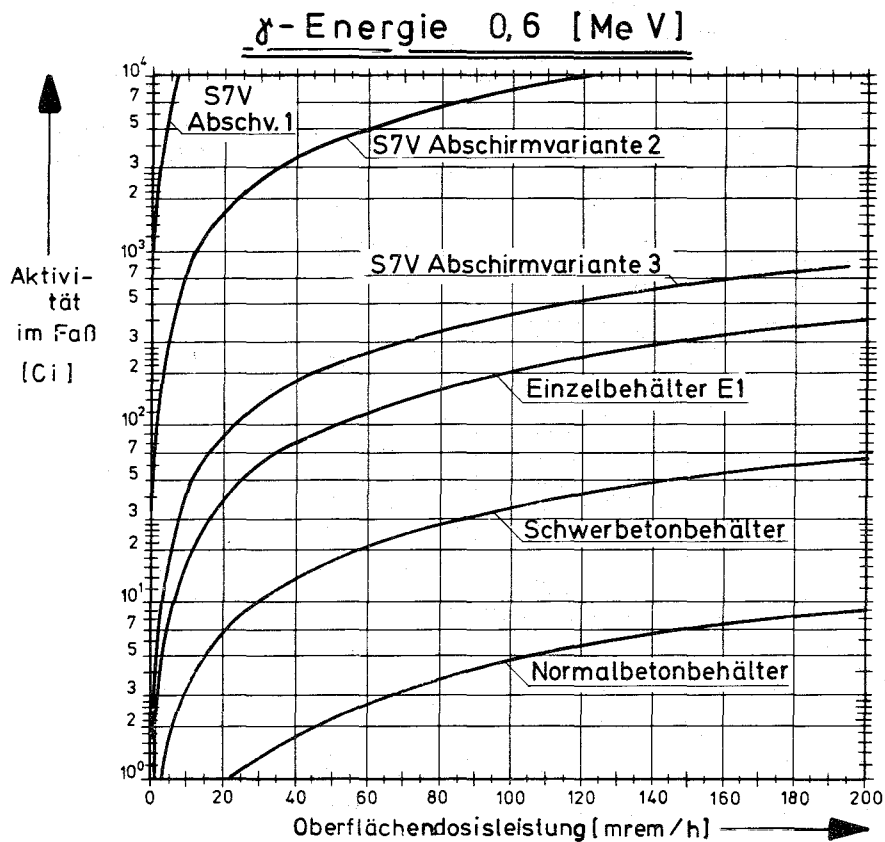


Abb. 3

Faßfixierung:
Bitumen $\rho = 1,3$

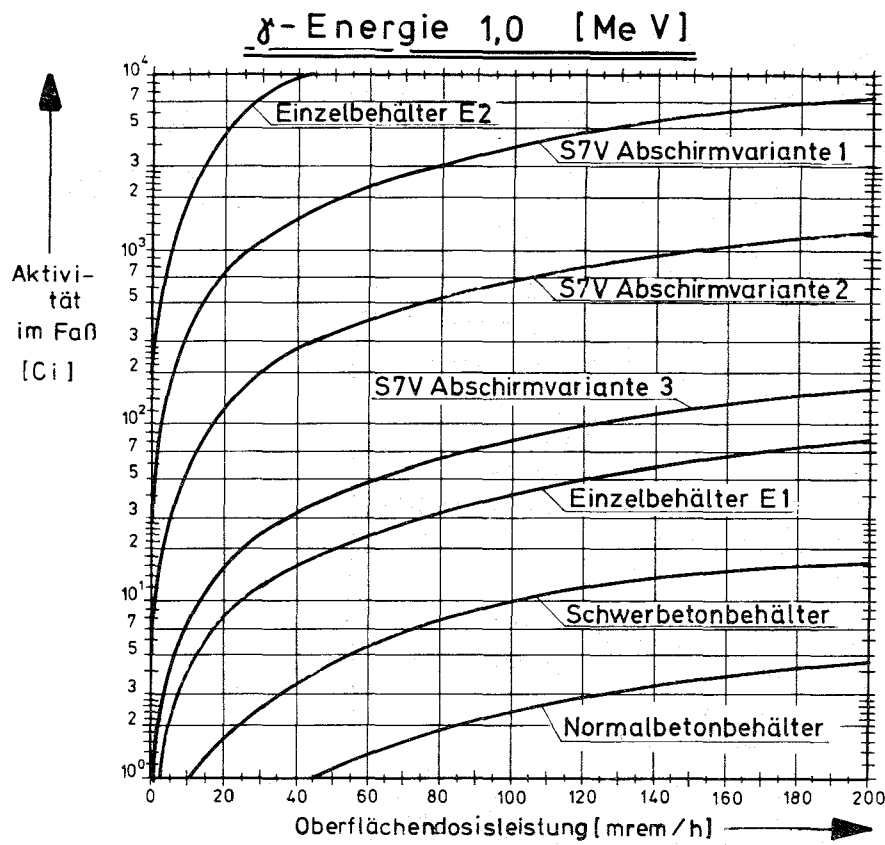


Abb. 4

Faßfixierung:
Beton $\beta = 2,3$

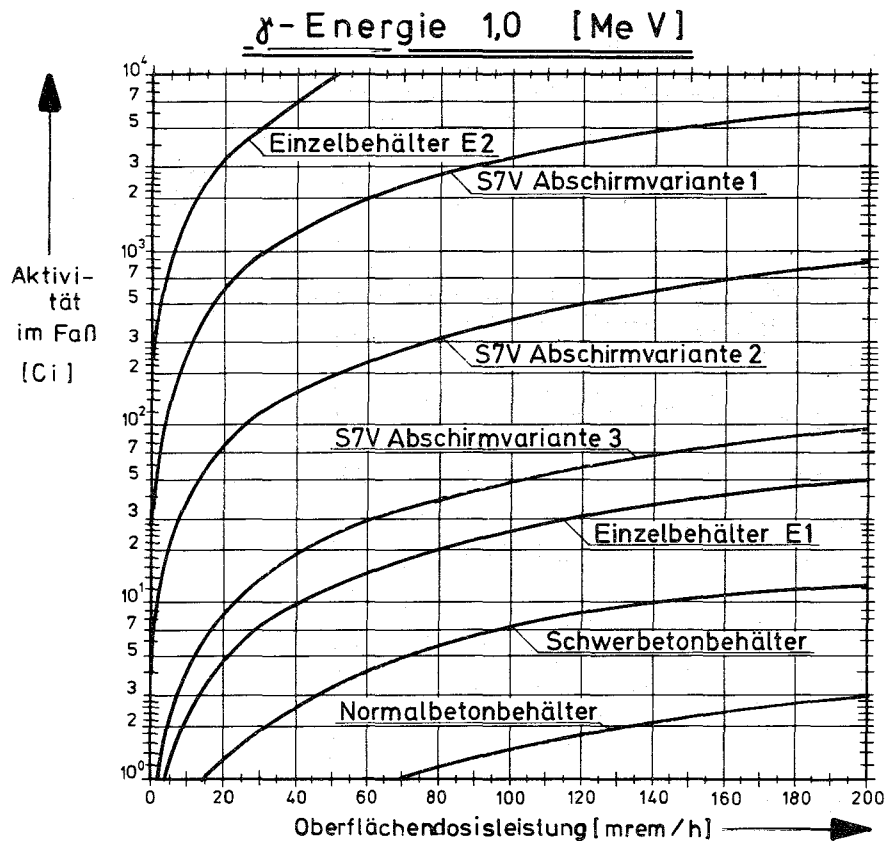


Abb. 5

Faßfixierung:
Bitumen $\beta = 1,3$

γ -Energie 1,17 [Me V] u. 1,33 [Me V] für Co-60

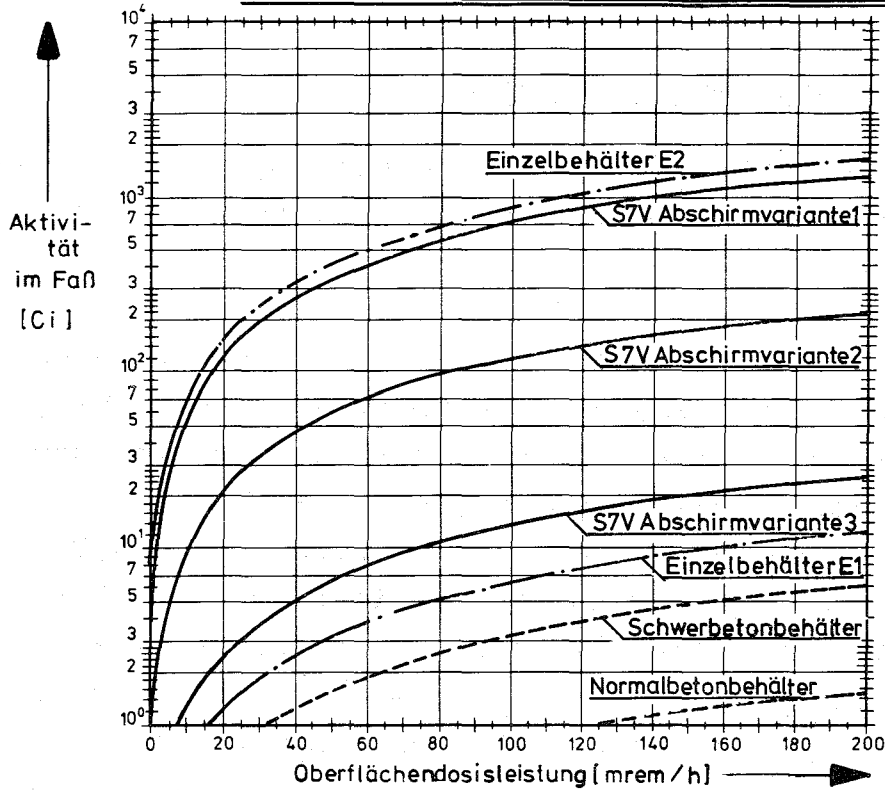


Abb. 6

Faßfixierung:
Beton $\rho = 2,3$

γ -Energie 1,17 [Me V] u. 1,33 [Me V] für Co-60

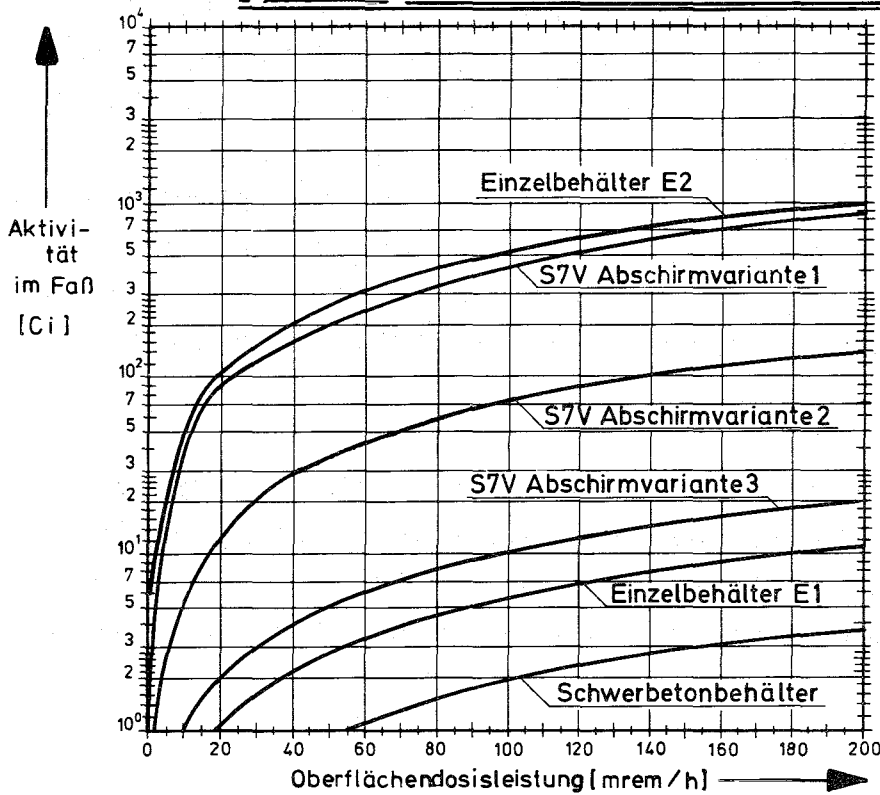


Abb. 7

Faßfixierung:
Bitumen $\rho = 1,3$

3.3. Hochaktive Abfälle

3.3.1. Planung der Einlagerungstechnik

Die Planung der Transportbehälter und Einlagerungsgeräte wurde wegen der gegebenen Mittelbeschränkungen in stark reduziertem Umfang fortgesetzt.

Nach einer ersten Diskussion über den Vorentwurf eines Prototypbehälters mit der Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM) wurde in Zusammenarbeit mit der Abteilung Reaktorbetrieb und Technik (RBT) mit der Detailplanung begonnen. Auch hier bestimmen die Abmessungen (1,2 m) und die Tragfähigkeit (9,8 t) des Förderkorbs die Ausführung und das Gewicht des Behälters. Der Gehalt an Neutronenstrahlern im Abfall erfordert eine zusätzliche Neutronenabschirmung, so daß die Abschirmung des Behälters mehrschichtig auszuführen ist. Für die Optimierung der Abschirmung wurden verschiedene Abschirmvarianten bei unterschiedlichen Dicken untersucht.

Die Abschirmung im Mantelbereich des Behälters besteht aus Stahl und Blei für die γ -Strahlung und zur Moderierung der Neutronen im epithermischen Bereich. Für die Thermalisierung der Neutronen ist eine $\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$ -Schicht vorgesehen. Boden und Deckel sind aus Stahl und Nylon 66 ausgeführt. Lithiumhydroxid wurde wegen guter Wärmeleiteigenschaften mit hoher H-Atomdichte ausgewählt. Vor der Festlegung dieses Abschirmkonzepts müssen jedoch noch einige technische und physikalische Daten insbesondere für das $\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$ in einem Versuchsprogramm ermittelt werden.

Zum Nachweis der in den Transportvorschriften geforderten wärmetechnischen Eigenschaften des Behälters wurde eine Wärmeberechnung durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, daß die Temperatur in der Bleiabschirmung bei einem Wärmetest deutlich unter dem Schmelzpunkt liegt.

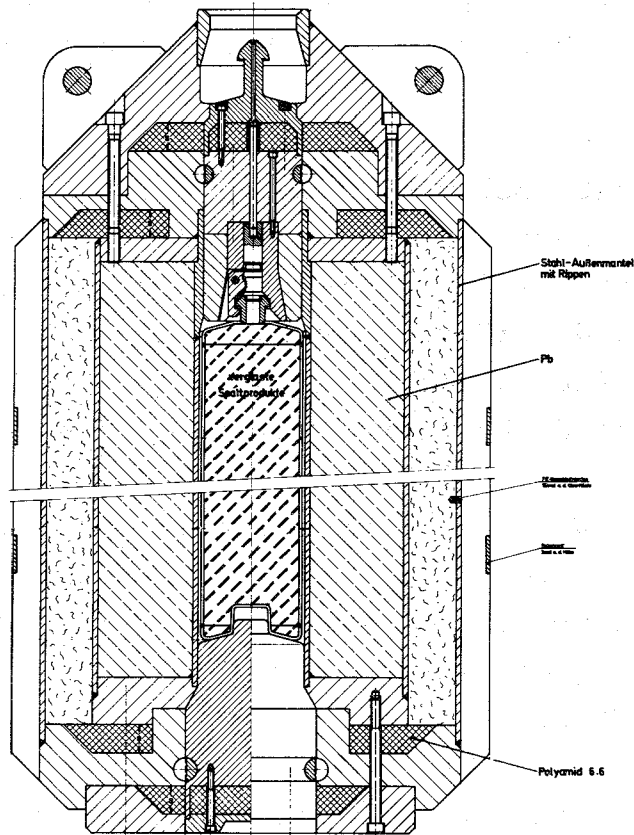


Abb. 8 Entwurf für Prototyp-Transportbehälter für hochradioaktive Abfälle

Das Be- und Entladen des Behälters erfolgt durch die Öffnung im Boden. Während dieses Vorgangs steht der Behälter auf einem speziellen Schieber, der den Verschlussstopfen am Bodenschieber entnehmen kann. Der an einem Tragseil hängende Greifer ist in der Lage, durch den Behälter zu fahren und die hochaktiven Abfallkörper aufzunehmen bzw. abzusetzen.

3.3.2 Temperatur-Versuche

Mit der Installation des Temperatur-Versuchsfeldes 3 in der Abbaukammer 6 der 750 m-Sohle konnte noch nicht begonnen werden, da zum einen unvorhersehbare Unregelmäßigkeiten an der Wandung der beiden Bohrungen nachgefräst werden mußten und zum anderen die bergmännische Herrichtung der Abbaukammer für die erforderliche intensive Gebirgsbeobachtung noch nicht abgeschlossen werden konnte.

Der in eigener Werkstatt begonnene Bau von fünf Heizelementen für den Temperatur-Versuch stand zum Ende des Berichtszeitraumes kurz vor seinem Abschluß. Labor-Messungen zeigten eine hinreichende Homogenität der Wärmeverteilung an der Oberfläche der Erhitzer. Langzeit-Aufheizungen im Labor lassen für den Untertage-Einsatz ausreichende Dauerstandseigenschaften erwarten.

Die Berechnungen der RWTH Aachen zur Temperaturentwicklung bei der Einlagerung hochaktiver Abfälle wurden fortgeführt. Die verwendeten Rechenprogramme wurden weiterentwickelt und gestatten nun auch die Berechnung der Temperaturen in Lagerkonfigurationen mit einseitiger Belüftung.

Erstmals wurden Rechnungen zur großräumigen Temperaturentwicklung außerhalb eines Lagerfeldes hochaktiver Abfälle durchgeführt.

Für die zukünftige Durchführung von Temperaturberechnungen durch ABRA wurde die Übernahme eines Rechenprogramms von der RWTH Aachen vorbereitet. Außerdem wurde bei ABRA bereits ein zusätzlich benötigtes Wärmeleitungsprogramm erstellt und getestet.

3.3.3 Vorarbeiten für die Einlagerung von AVR-Brennelementen

Auf der 750 m-Sohle ist, beginnend im Jahre 1976, die Einlagerung von ca. 100 000 AVR-Brennelementen vorgesehen. Dazu ist in Zusammenarbeit mit der Kernforschungsanlage Jülich GmbH (KFA) das technische Konzept erarbeitet worden. Im September wurde es bei

der auf Einladung des niedersächsischen Ministers für Wirtschaft und Verkehr in Hannover stattgefundenen Dienstbesprechung in Anwesenheit eines größeren Kreises von Behördenvertretern vorge-
tragen. Es ergaben sich keine Bedenken gegen eine Genehmigung
des Vorhabens. Der Vortrieb der für die Einlagerungsbohrungen
erforderlichen Strecken ist inzwischen erfolgt.

4. Erstellung einer Prototyp-Kavernenanlage auf der Schachtanlage ASSE

Die Arbeiten zur Erstellung einer Prototyp-Kavernenanlage auf der Schachtanlage ASSE wurden im Berichtsjahr planungsgemäß fortgeführt.

Nachdem der Auftrag für das Niederbringen des Bohrschachtes erteilt, die Spülungsbecken und der Bohrkeller fertiggestellt waren, konnte nach Montage des Bohrturms im August 1974 mit dem Niederbringen des Bohrschachtes begonnen werden (Abb. 9 und 10). Die Bohrung wurde bis 50 m Teufe mit einem Durchmesser von 264 cm niedergebracht, verrohrt und der Ringraum zwischen Rohrtour und Gebirge zementiert.

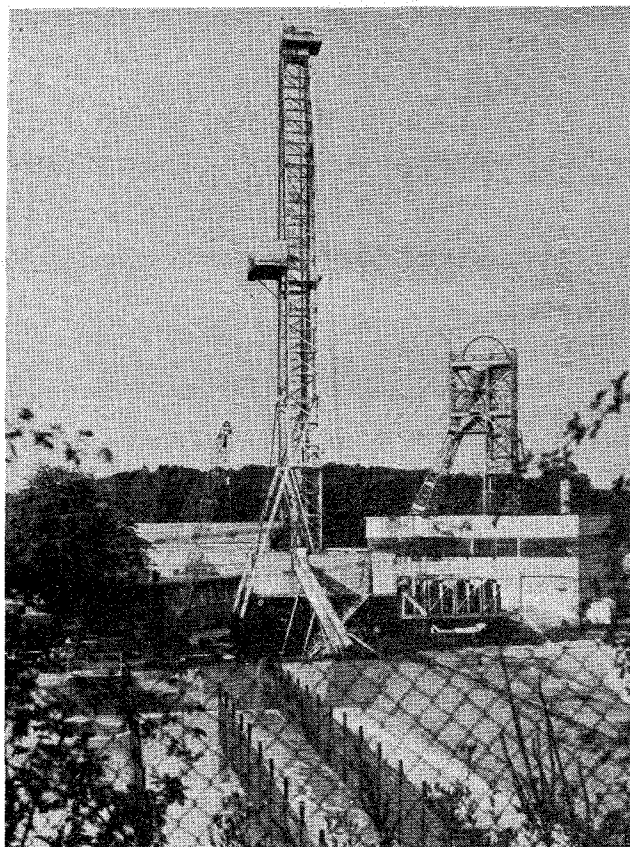


Abb. 9

Der fertig montierte Bohrturm

Die Bohrung wurde mit einem Durchmesser von 213 cm weitergeteuft und erreichte zum Jahresende eine Teufe von rund 392 m.

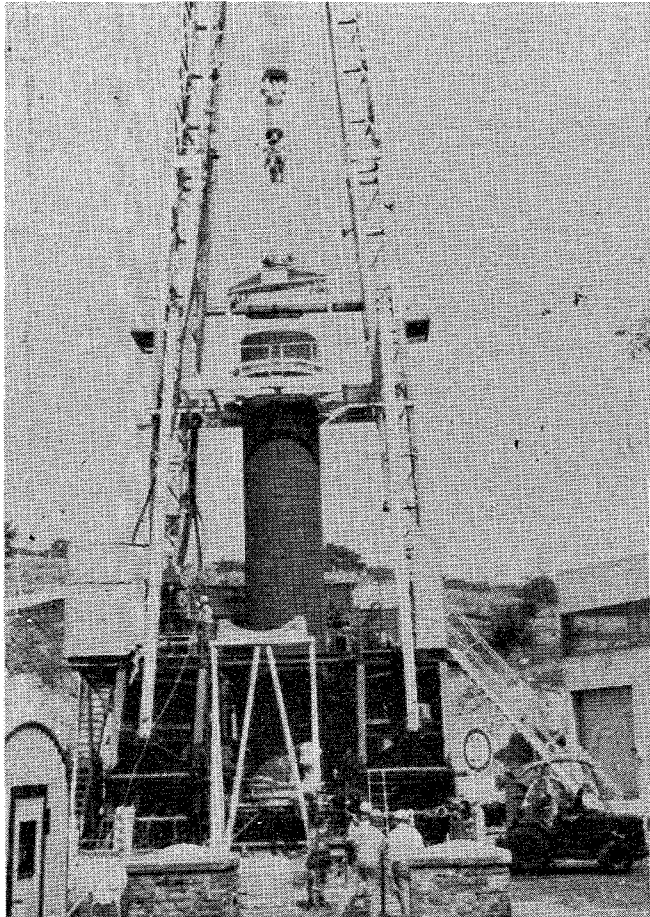


Abb. 10

Einbringen der Schachtverrohrung mit 218 cm Durchmesser

Inzwischen waren die auf dem Schachthof lagernden Ausbaurohre, die in Einzelschüssen von 12 m Länge angeliefert worden waren, gesandstrahlt und mit einem korrosionsschützenden Grundierungsanstrich versehen worden.

In Zusammenarbeit mit der für den maschinen- und elektrotechnischen Teil der Anlage zuständigen Planungsfirmen sowie mit dem für den Bau der Schachthalle, des Schachthallenkellers und der Heißen Zelle zuständigen Staatshochbauamt Braunschweig wurden die Planungsarbeiten zum Abschluß gebracht und die Ausschreibungsunterlagen erstellt. Nach erfolgter Ausschreibung konnte am Jahresende der Auftrag an eine Industriefirma zur Lieferung und Montage der Förder-, maschinen- und elektrotechnischen Anlage für dieses Projekt erteilt werden.

In Zusammenarbeit mit der Forschungs- und Materialprüfungsanstalt für das Bauwesen der Universität Stuttgart und einer einschlägigen Firma wurden Untersuchungen von Salzproben im Labor bzw. im Untertagebereich der ASSE durchgeführt mit dem Ziel, Schutzanstrichsysteme zur Konservierung des Schachtstoßes im Bereich von Steinsalz- und Carnallitformationen auf ihre Eignung zu untersuchen. Die zu konservierenden Bereiche des Bohrschachtes liegen im unverrohrten Teil zwischen den Teufen von 400 bis 750 m. Über die Ergebnisse der Untersuchungen und der Bewertung der einzelnen Systeme wird ein Gutachten erstellt.

Die Planungsarbeiten für die technischen Einrichtungen der Heißen Zelle wurden zum Abschluß gebracht und die Unterlagen zur Ausschreibung im wesentlichen fertiggestellt. Weiterhin wurden einzelne Einrichtungen, speziell aus dem Bereich der Übernahme- und Manipulationstechnik für die Abfallfässer überarbeitet und in verschiedenen Details konstruktiv umgestaltet.

Für das Niederbringen des Bohrschachtes wurde auf Verlangen der Bergbehörde in einem Gutachten die Frage untersucht, welche Belastung des wasserdichten ringversteiften Stahlausbaus im Salinarbereich zu erwarten ist. Dabei wurde die Frage des erforderlichen Ausbawiderstandes und damit der Ausbausicherheit auf der Grundlage der Rheologie behandelt, indem ein elastisches Rohr untersucht wurde, welches von einem Gebirge mit visko-elastischen oder visko-elastisch-plastischen Verformungseigenschaften umgeben ist.

Die Ergebnisse dieser theoretischen Untersuchungen sollen nach Fertigstellung des Bohrschachtes durch Dehnungsmessungen an der Innenseite des Schachtausbaus kontrolliert werden. Mit diesen Messungen soll die sich tatsächlich einstellende mechanische Belastung des Ausbaus erfaßt werden. Zu diesem Zweck wurden in den übertage lagernden Ausbaurohren von 1,5 m lichtigem Durchmesser rund 1.000 Meßpunkte in sechs Horizonten vermarktet. Nach dem Absenken der Ausbauschosse in das Bohrloch werden diese Meßhorizonte sowohl im Deckgebirge als auch im Salinar angeordnet sein. Wegen der rauen Betriebsbedingungen beim Einbau der Ausbaurohre,

wegen Wasserdrucks bis zu 40 atü infolge von Ballastwasser und wegen mehrmaligen Überfahrens der Meßebenen mit dem an Centralisern geführten schweren Bohrgestänge beim Weiterteufen des Bohrschachtes war auf besonders gute und sichere Vermarkung der Meßstellen unter Anwendung eines robusten und zuverlässigen Dehnungsmeßverfahrens besonderer Wert zu legen.

Durch eine Basismessung im unbelasteten Zustand der Ausbaurohre übertage ist eine Absolutmessung gewährleistet. Abb. 11 zeigt die Überprüfung von Meßstrecken an der inneren Oberfläche eines Ausbaurohres mit einem Setzdehnungsmesser während der Montagearbeiten.

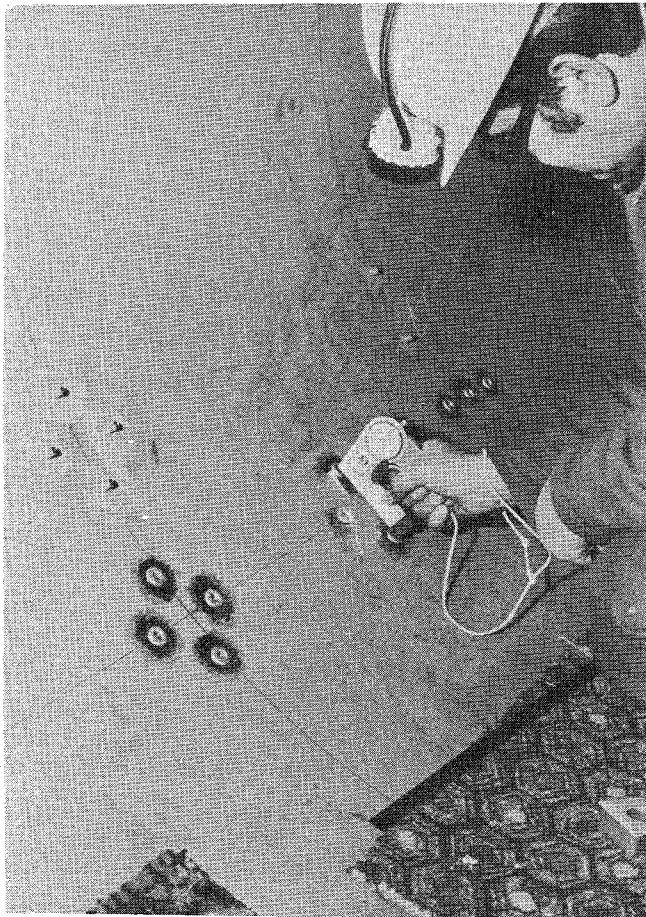


Abb. 11 Überprüfung der Meßstrecken mit einem Setzdehnungsmesser

5. Beseitigung tritiumhaltiger Abwässer durch Einpressen in poröse Schichten des tiefen Untergrundes

Die Genehmigung zur Versuchsversenkung tritiumhaltiger Abwässer aus dem Kernforschungszentrum Karlsruhe in eine erschöpfte Erdöllagerstätte der Bohrung Lh2 im Erdölfeld Leopoldshafen wurde im Frühjahr 1973 beantragt. Im Zuge dieses Genehmigungsverfahrens wurden auf Veranlassung des Regierungspräsidiums Karlsruhe vom Bergamt Freiburg weitere Angaben und Nachweise gefordert.

Daraufhin wurde an die Landesanstalt für Arbeitsschutz eine gutachterliche Stellungnahme zu diesem Vorhaben in Auftrag gegeben, die zum Ende des Jahres fertiggestellt war. Ferner wurde der TÜV damit beauftragt, ein Gutachten über die Anlage anzufertigen.

Die Unterlagen zum Genehmigungsantrag wurden durch eine Neufassung des Erläuterungsberichtes sowie durch weitere zeichnerische Unterlagen ergänzt.

6. Forschungsarbeiten

6.1 Gebirgsmechanische Untersuchungen

Im gebirgsmechanischen Labor wurden im Berichtsjahr Serienuntersuchungen zur Ermittlung spezifischer festigkeitsmechanischer Parameter des Hauptsalzes Na 2B (Zechstein 2) durchgeführt. Die Proben hierfür wurden aus den Kernen der in das Zentrum des ASSE-Sattels gerichteten Kavernen-Vorbohrung präpariert und stammen aus dem Bereich zwischen 935 und 1000 m Teufe. Der Untersuchungsbereich erfaßte damit vornehmlich den Gebirgsabschnitt, in dem die Kaverne und ihr "Dach" angeordnet sein werden.

Die Festigkeitsuntersuchungen erstreckten sich zunächst auf einachsige Druck- sowie Spaltzugversuche zur Ermittlung der Druck- und Zugfestigkeitswerte dieses Steinsalzes unter quasistatischen Bedingungen. Obwohl diese Kerne durch das Counterflush-Bohrverfahren ungünstig vorbeansprucht waren und nur verhältnismäßig kleine Kerndurchmesser vorlagen, brachten die Untersuchungen vergleichsweise außerordentlich günstige Festigkeitsergebnisse für das Anlegen der geplanten Kaverne. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die Untersuchungsergebnisse. Die Homogenität des in dieser Teufe anstehenden Gebirges spiegelt sich bereits wider in den verhältnismäßig geringen Abweichungen der Einzelwerte von den mittleren Kennwerten, ausgedrückt durch die entsprechenden statistischen Kennzahlen.

Ergänzt wurden diese einachsigen Versuche durch sogenannte Triaxialversuche, welche in einer Triaxialanlage der Bundesanstalt für Bodenforschung, Hannover, durchgeführt worden sind. Solche Triaxialversuche mit rotationssymmetrischer mehrachsiger Beanspruchung von zylinderförmigen Gesteinsprüfkörpern, bei denen auf die Mantelfläche der Probe mittels Druckflüssigkeit ein konstanter hydraulischer Manteldruck und gleichzeitig in Axialrichtung der Probe mechanisch eine zunehmende Druckspannung ausgeübt wird, vermitteln einen Einblick in das Bruchverhalten eines Gesteins bei unterschiedlichster Kombination der Hauptspannungen. Es lassen sich aus diesen Versuchen gesteinspezifische mechanische Kennwerte wie z.B. Schubfestigkeit, Kohäsion und Reibungswinkel ableiten, welche für die Beurteilung der Tragfähigkeit des Gebirges um einen untertägigen Hohlraum und damit für die Sicherheit dieses Grubenbaues von Bedeutung sind. Auswertung und Analyse dieser Triaxialversuche befinden sich bei der Wissenschaftlichen Abteilung noch in Bearbeitung. Weiterhin ist die quasi-statische Aufnahme von einachsigen Spannungs-Verformungs-Kennlinien an Proben aus der gleichen Kernstrecke in Vorbereitung.

Abbildung 12 zeigt als Beispiel für das hohe bruchlose Verformungsvermögen von Steinsalz die im Berichtsjahr aufgenommene Spannungs-Verformungs- $(\sigma - \epsilon)$ -Kennlinie von Liniensalz (Na 3 B) der 490 m-Sohle des Salzbergwerkes ASSE.

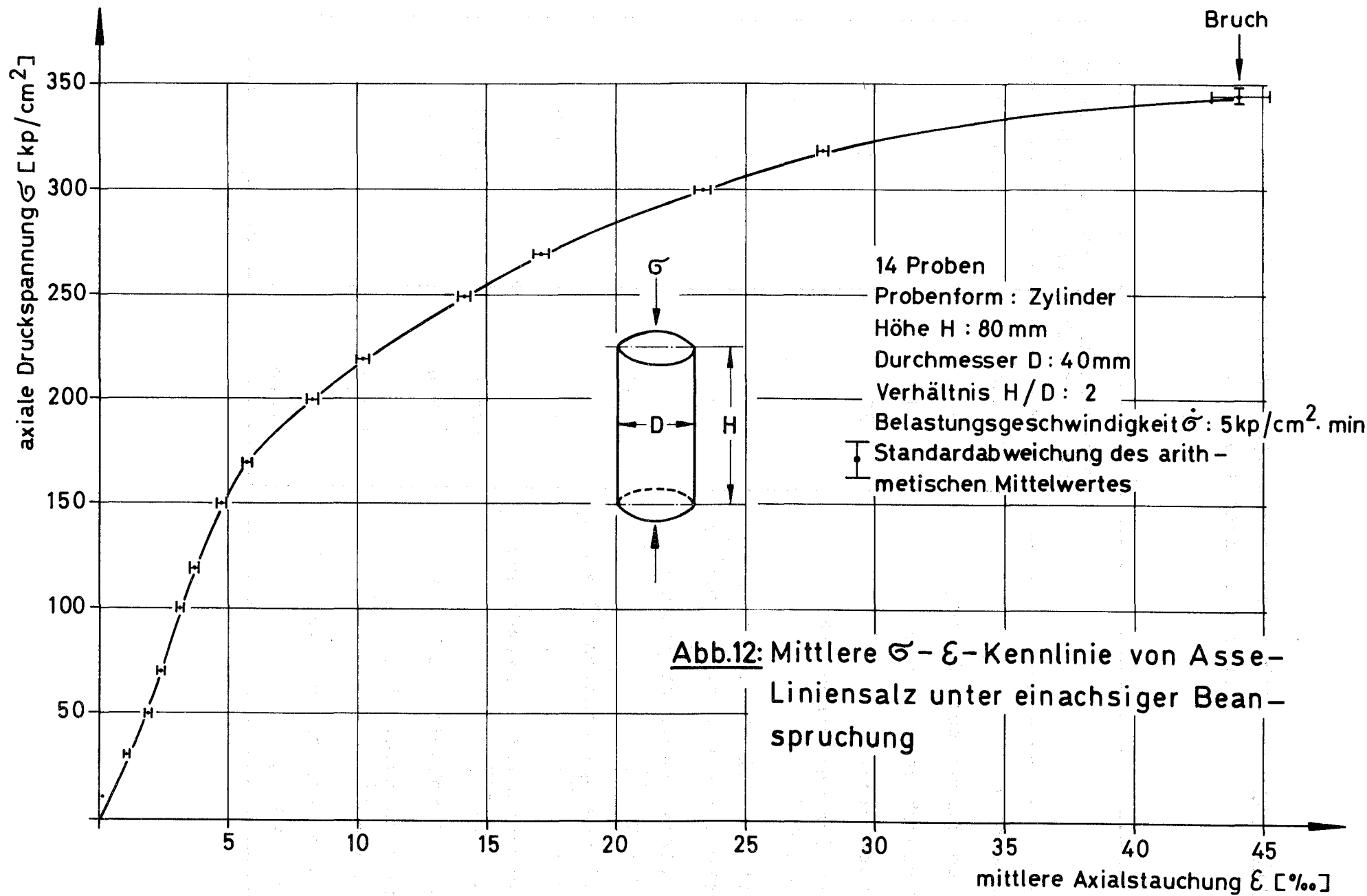


Tabelle 1: Ergebnisse der Festigkeitsuntersuchungen an
Älterem Steinsalz (Na 2 B)

	einachsiger Druckversuch	Spaltzugversuch (Brasilianer Test)
Probenform	Zylinder	Zylinder
Probendurchmesser D [mm]	52	52
Probenschlankheit H/D	1	1
Probenanzahl n	22	18
mittlere Gesteinsdichte ρ [Mp · m ⁻³]	2,16	2,17
mittlere Belastungsgeschwin- digkeit $\dot{\sigma}$ [kp · cm ⁻² · min ⁻¹]	10	10
mittlere Druckfestigkeit σ_D [kp · cm ⁻²]	372,8	-
mittlere Spaltzugfestigkeit σ_Z [kp · cm ⁻²]	-	19,9
Standardabw.d.Einzelmessung s_x [kp · cm ⁻²]	±35,8	± 3,0
Variationskoeffizient V [%]	± 9,6	±14,9
Standardabw.d.Mittels s_x [kp · cm ⁻²]	± 7,6	± 0,7
Vertrauensbereich U (S = 95 %) [kp · cm ⁻²]	±15,9	± 1,5

Bemerkenswert ist die relativ geringe Standardabweichung vom arithmetischen Mittel der Axialstauchung dieser Probenserie aus sehr reinem Steinsalz. Unterhalb der Bruchgrenze ergab sich für sämtliche Mittelwerte der Axialstauchung [°/oo] ein Vertrauensbereich $U < \pm 0,8$ [°/oo] bei einer statistischen Sicherheit $S = 95$ %.

Entsprechend dem überarbeiteten Gebirgsbeobachtungsprogramm wurden die markscheiderischen Messungen im Grubengebäude fortgesetzt. Die in der Auswertung ermittelten Verlagerungen der Meßpunkte zeigten insgesamt keine Besonderheiten oder Abweichungen von den in früheren Messungen beobachteten Trends. Die Punktverschiebungen zwischen der 490 m- und 750 m-Sohle verlaufen generell in nördlicher Richtung, d.h. querschlägig zur Lagerstätte. Ihre Beträge erreichen mit Ausnahme des Hauptquerschlages auf der 553 m-Sohle lediglich Größenordnungen, die sehr nahe am Bereich des zu erwartenden mittleren Fehlers bei der Koordinatenbestimmung liegen (vgl. GSF-Jahresbericht 1973, S. 144).

Auf der obersten Sohle des Grubengebäudes, der 490 m-Sohle, konnte das Festpunktnetz bedeutend erweitert werden. Nach Auffahrung der Sattelrichtstrecke wurde hier nördlich der Abbaue im Satteln Kern eine 250 m lange Linie mit sieben Festpunkten vermarktet. Aus der Kontrolle dieser Strecke sind Vergleichswerte in unmittelbarer Nähe der Sattelachse zum Verhalten der Punkte auf der südlichen Salzflanke zu erwarten. Darüber hinausgehend bot sich durch diese neue Meßanordnung die Möglichkeit, die Koordinatenbestimmungen durch ein geschlossenes Polygon vorzunehmen. Die dabei auftretenden Zwangsbedingungen wirken sich auf die Verteilung der unvermeidbaren Meßfehler günstig aus und lassen eine gesicherte Deutung der Ergebnisse erwarten.

Durch die auf der 490 m-Sohle installierten Konvergenzmesser (vgl. GSF-Jahresbericht 1970, S. 119) wurde weiteres Datenmaterial über das Konvergenzverhalten der untertägigen Hohlräume gewonnen. Ein Ergebnis-Beispiel verdeutlicht Abbildung 13.

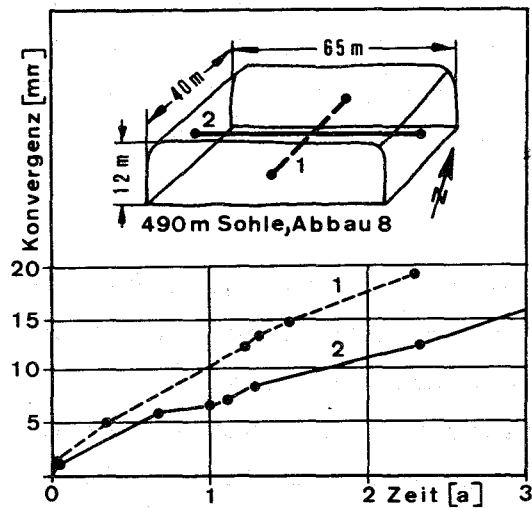


Abb. 13 Querschlägig (1) und streichend (2) gemessene Horizontal-
talkonvergenzen im Abbau 8 der 490 m-Sohle

Das Konvergenz-Zeit-Diagramm enthält die im Abbau gemessenen Horizontal-Konvergenzen parallel (streichend) und senkrecht (querschlägig) zur Salzlagerstätte. Ausfallzeiten des Meßgerätes wurden in der Darstellung so berücksichtigt, daß die Lücken in der Kurve durch das Aneinanderreihen der Meßzeiten geschlossen wurden. Es ergeben sich daraus Beobachtungszeiten von 3 bzw. 2 1/3 Jahren. Die Konvergenzbeträge bewegen sich in diesen Zeiträumen zwischen 6,5 und 5 mm/Jahr in Streichrichtung und zwischen 10,5 und 7,5 mm/Jahr in querschlägiger Richtung. Das entspricht einer derzeitigen Konvergenz des Abbauhohlraumes von 0,12 ‰ pro Jahr in beiden Richtungen. Die Tendenz der Werte ist mit zunehmender Standzeit des Abbaues abnehmend.

Die jährliche übertägige Höhenbeobachtung ist fortgesetzt worden. Die Festpunkte des Erweiterungsteiles (vgl. GSF-Jahresbericht 1973, S.144) wurden erstmalig in das Feinnivellement einbezogen. Ergebnisse sind erst nach mehrfacher Wiederholung der Messungen zu erwarten, da für eine Ermittlung der zu berücksichtigenden Streubreite noch nicht genügend Wiederholungsmessungen vorliegen.

Die Nivellementszüge führen teilweise durch schwieriges Gelände. Das führt zwangsläufig zu Widersprüchen in der Höhenbestimmung. Eventuelle tatsächliche Höhenänderungen können somit erst aus längeren Meßreihen ermittelt werden.

Die seit über drei Jahren laufenden Gebirgsbeobachtungen im Bereich des Fahrweges im Abbau 7 der 490 m-Sohle (vgl. GSF-Jahresbericht 1971, S. 121) wurden 1974 in einem zusammenfassenden Bericht analysiert (1). Die Auswertung erfaßt einen Zeitraum von 1117 Beobachtungstagen bis Ende Januar 1974. Insgesamt vollzieht sich die Absenkung der nunmehr mindestens 11 Jahre alten Schwebenoberkante trogartig mit abnehmender Senkungsrate. Die Firste des Abbaues 7 der 490 m-Sohle oberhalb dieses ca. 58 m langen, ca. 4,5 m breiten und mindestens 6,5 m mächtigen beobachteten Reststreifens der Schwebenoberkante senkt sich stärker als dieser selbst. Die daraus resultierende Konvergenz zwischen dieser Abbaufirste und der Schwebenoberkante verläuft jeweils mit örtlich konstanter Geschwindigkeit. Auch die Dilatation des Gebirges innerhalb der Schwebenoberkante ist geringer als die der Abbaufirste, sowohl absolut als auch relativ betrachtet. Ausgenommen ist hiervon nur der Übergangsbereich der Schwebenoberkante zu den angrenzenden Pfeilern sowie das umgebende Gebirge in den Pfeilerdurchhieben, wo wegen der zunehmenden Einspannung dieser Gebirgspartien in den Pfeilern Hebungen beobachtet werden konnten.

Abbildung 14 zeigt einige **Senkungsprofile** des Gebirges entlang der nördlichen Schwebenoberkanten und der Firste oberhalb des Fahrweges im Bereich des Abbaues 7 der 490 m-Sohle nach 1391 Beobachtungstagen zum Ende des Berichtsjahres. Innerhalb dieser Zeitspanne von fast 4 Jahren senkte sich die Schwebenoberkante maximal um rund 15,6 mm und in 5,5 m Teufe um rund 17,6 mm ab, was an dieser Stelle einer Dilation des dazwischenliegenden Gebirgspaketes entsprechender Stärke von rund 0,36 ‰ entspricht. Im gleichen Zeitraum senkte sich die Abbaufirste um maximal 25,7 mm ab bei einer Dilation des beobachteten 2,5 m mächtigen Firststreifens von 1,69 ‰. Ende des Jahres 1973 festgestellte Risse im streichenden Widerlager dieser Restschwebenoberkante führ-

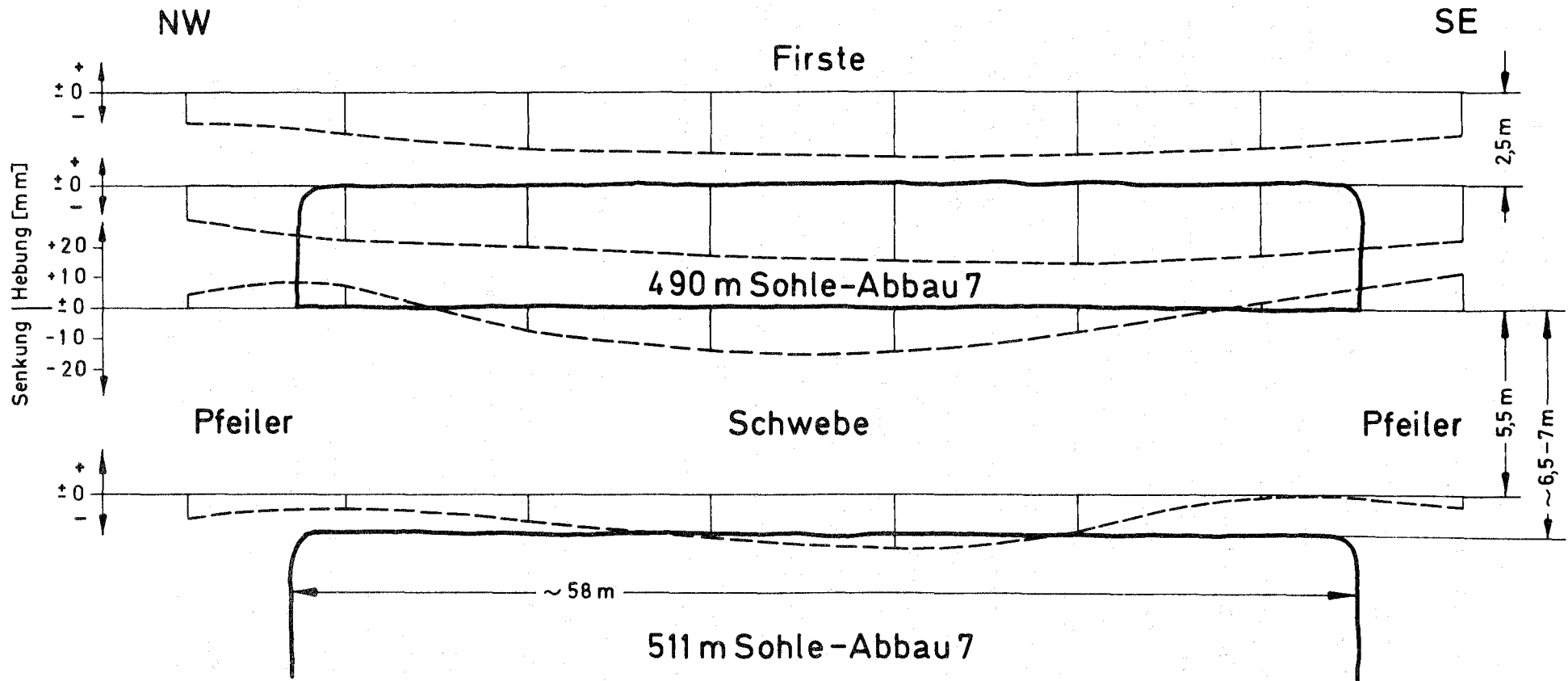


Abb. 14: Senkungsprofile von Firste und Schwebe im Abbau 7 der 490 m-Sohle nach 1391 Beobachtungstagen

ten zur Einstellung des Fahrzeugverkehrs in diesem Bereich, hatten aber erstaunlicherweise keinerlei Einfluß auf die geschilderten Meßergebnisse.

Die seit dem Jahre 1972 in der Strahlenschutzmauer vor der Lagerkammer für mittelradioaktive Abfälle laufenden Betonspannungsmessungen sowie die Konvergenzbeobachtungen im Durchhieb vor dieser Mauer wurden fortgesetzt (vgl. GSF-Jahresbericht 1972, S. 142/143). Infolge der stetigen, jedoch langsam zunehmenden radialen Gebirgsverschiebungen in den Mauerwiderlagern sind die Betonspannungen, jeweils in der Mitte der vier Mauerseiten und ca. 0,5 m vom Lasteintragungsrand entfernt gemessen, nach rund 1000 Beobachtungstagen radial im Mittel auf $88 \pm 4 \text{ kp/cm}^2$ und tangential auf $95 \pm 13 \text{ kp/cm}^2$ angestiegen. Die zeitliche Zunahme sämtlicher Spannungen deutet bisher auf einen sigmoidalen Verlauf der Belastungs-Zeit-Kurve, deren Maximum jedoch noch nicht erreicht zu sein scheint.

Die im Durchhieb unmittelbar von der Mauer in zwei Meßquerschnitten laufend beobachteten radialen Konvergenzen des Gebirges zeigen einen praktisch unveränderten Verlauf der Verschiebungen (vgl. GSF-Jahresbericht 1971, S. 121).

6.2 Geologische Untersuchungen

Die Kern- und Spülproben der zwanzig übertägigen Aufschlußbohrungen, die im Rahmen des hydrogeologischen Forschungsprogramms niedergebracht worden sind, wurden im Labor bearbeitet. Damit wurde eine verfeinerte petrographische und stratigraphische Einstufung der durchbohrten Schichten ermöglicht.

Innerhalb des Grubengebäudes wurden neu aufgefahrene Strecken geologisch aufgenommen. Beim Vortrieb einer Richtstrecke auf der 775 m-Sohle nach Westen tropfte aus einem unverfüllten Bohrloch, welches aus der Zeit der Steinsalzgewinnung im Jahre 1960 stammte, gesättigte Sole. Durch die Abkühlung der Sole am frischen Stoß kristallisierte das Bohrloch aber nach kurzer Zeit wieder zu. Bei dem Auffahren der Wendelstrecke wurden im Bereich zwischen der

511 m- und der 532 m-Sohle im Sattelkern einige geringfügige Vorkommen von gesättigter Sole und von Gas angefahren. Diese in ihrer Erscheinungsweise ungefährlichen Vorkommen sind stratigraphisch an den Grenzbereich von Staßfurt-Carnallitit (K 2 C) zu Weißen Liniensalz (Na 3 B) gebunden und treten bevorzugt zusammen mit abgequetschten Schollen oder Fetzen von Grauem Salztou (T 3) oder Hauptanhydrit (A 3) auf.

6.3 Hydrogeologische Untersuchungen

Der II. Bauabschnitt des Hydrogeologischen Forschungsprogramms im Bereich der ASSE, welches gemeinsam mit dem Institut für Radiohydrometrie der GSF durchgeführt wird, wurde mit dem Abteufen einer Untersuchungsbohrung von 243 m Teufe in der Nähe des Schachtes ASSE 1 abgeschlossen. Damit sind im Rahmen dieses Programmes bisher zwanzig Bohrungen mit insgesamt 1950 Bohrm Metern niedergebracht worden. Die Bohrungen wurden und werden geologisch und hydrologisch untersucht. Durch Injektionsversuche im Zusammenhang mit Fernsehsondierungen und geophysikalischen Bohrlochmessungen konnte zwischen einigen Bohrungen eine hydraulische Verbindung nachgewiesen werden. Dieses Ergebnis wurde durch die Auswertung von Schreibpegelaufzeichnungen bestätigt.

Bohrlochmessungen mit einer Temperatur-Leitfähigkeitssonde gaben erste Anhaltspunkte über Verschiebungen in der Tiefenlage von Dichtesprüngen, Änderungen des Gehaltes an gelösten Stoffen im Wasser, Strömungen innerhalb des Bohrloches und Ausbildungen der geothermischen Tiefenstufe. Im Bereich einer Bohrung, welche in unmittelbarer Nähe einer Solquelle steht, wurden Bodensondierungen vorgenommen, durch die für diese Zone eine verbreitete Zunahme des Chloridgehaltes zur Tiefe hin nachgewiesen werden konnte.

6.4 Umgebungsüberwachung

Die regelmäßige Überwachung von Wasser-, Luft- und Bodenproben aus der näheren und weiteren Umgebung des Salzbergwerkes ASSE bestätigte auch 1974 die bereits früher mitgeteilten Werte

(vgl. GSF-Jahresbericht 1972, S. 11).

6.5 Sicherheitsstudien

Die Vorgänge beim Fluten eines Salzbergwerks mit Flüssigkeiten verschiedenen Salzgehaltes wurden modellmäßig untersucht. Die unterschiedliche Löslichkeit der anstehenden Mineralien bedingt eine Änderung der Geometrie des Grubengebäudes während und nach dem Fluten. Beim Zufließen von an $MgCl_2$ nicht gesättigten Lösungen wird eine erhebliche Volumenzunahme der untertägigen Hohlräume zu erwarten sein.

Die Ausbreitung radioaktiver Stoffe in einem mit Flüssigkeit gefüllten Grubengebäude wurde durch Untersuchung an Modellen im Maßstab 1 : 1.000 untersucht. Die Konzentrationsänderungen werden durch Änderung der elektrischen Leitfähigkeit erfaßt. Die Untersuchungen werden auch unter Einbeziehung des Auslaugmechanismus von Radionukliden aus den Abfällen weitergeführt.

Im Rahmen der Sicherheitsstudien werden auch die Schächte ASSE 1 und 3 überwacht. Mit Hilfe eines speziell gebauten Probenehmers wurde 1974 die Konzentrationsverteilung in der 1927 vollgelaufenen Schachtröhre ASSE 3 untersucht. Daneben wurden Messungen mit einer Temperatur-Leitfähigkeitssonde durchgeführt.

Die mit der Sonde gemessene Leitfähigkeit steigt in drei markanten Sprüngen bei 124, 142 und 170 m unter Geländeoberkante an. Zwischen den Sprüngen bleibt die Leitfähigkeit nahezu unverändert. Die Temperatur zeigt bis etwa 225 m Teufe einen ähnlichen Verlauf. Im oberen Teil der Schachtröhre ändert sich die Temperatur sprunghaft um etwa $1^{\circ}C$ bei 124 und 140 m Teufe. Dazwischen bleibt sie im Rahmen der Meßgenauigkeit konstant. Zwischen 173 und 225 m Teufe steigt sie um etwa $8^{\circ}C$, um danach erheblich langsamer zuzunehmen. Mit der Temperatur-Leitfähigkeitssonde konnte nur bis 320 m Teufe gemessen werden. Mit Hilfe des Probenehmers wurde die gesamte Schachtröhre untersucht.

Von 720 bis 680 m Teufe reicht ein kompakter Betonpfropfen, der als Abdichtung gegen die früher auf der 725 m-Sohle zuzusitzenden Magnesiumchlorid-Lösungen diente. Von 680 bis 646 m befindet sich wahrscheinlich aus dem Schachtausbau herausgebrochenes Trümmaterial, wie Ziegelsteine, Bitumen, Mörtel und Gipskristalle. Eine Abschätzung ergibt bei der bekannten Wandstärke des Ausbaus, daß etwa 5 % des Ausbaus auf dem Betonpfropfen liegen. Über diesem Schuttmaterial steht bis 450 m Teufe eine gesättigte NaCl-Lösung mit der Dichte von 1,204 bei 20°C. Die K^+ -, Mg^{++} - und Ca^{++} -Konzentrationen liegen bei 2,5 bis 3,2 g/l, die SO_4^{--} -Gehalte liegen bei 1,0 bis 2,2 g/l. Von 450 bis 350 m Teufe sinkt die Dichte von 1,203 auf 1,130 g/cm^3 ab, der NaCl-Gehalt entspricht 18,3 Gewichtsprozent. Der Salzspiegel liegt in 396,3 m Teufe. Von 350 bis 165 m Teufe fällt der Salzgehalt und damit auch die Dichte kontinuierlich ab auf etwa 0,5 Gewichtsprozent NaCl bzw. 1,003 g/l bei 20°C.

Aus diesen Ergebnissen kann man schließen, daß der Betonpfropfen bei 680 m auch heute noch dicht und der Schachtausbau noch nicht allzusehr beschädigt ist. 54 m unterhalb des Salzspiegels wurde eine gesättigte NaCl-Lösung gefunden. Der NaCl-Gehalt nimmt bis ca. 165 m kontinuierlich ab. Oberhalb 165 m zirkulieren drei unterschiedliche Grundwässer mit jeweils konstanter Temperatur und Leitfähigkeit.

Im Rahmen der Untersuchungen zur Sicherheit bei der Endlagerung von radioaktiven Abfällen in der Prototyp-Kaverne, werden Untersuchungen durchgeführt mit dem Ziel, Grenzwerte für die spezifische Aktivität in bituminierten und zementierten mittelaktiven spaltproduktartigen Abfällen zu bestimmen, bei denen unter den Lagerbedingungen in der Prototyp-Kaverne sowohl die Bildung eines zündfähigen Radiolysegas/Luft-Gemisches als auch eine unzulässige Erwärmung der Abfallprodukte vermieden wird. Die Arbeiten zur Berechnung des in der Kaverne gebildeten Wasserstoffs, der den Hauptanteil an den Radiolysegasen ausmacht, beim Lagern von Bitumen/ $NaNO_3$ -Produkten und Zement/Alkalische Nitratlösung-Produkten in Abhängigkeit von der Lagerzeit bei verschiedenen spezifischen Aktivitäten (0,02 bis 1 Ci/l) und Alter der in den fixierten Abfällen Spaltprodukte (0, 5, 1 und 2a) wurden abgeschlossen.

Es wurden Rechnungen für folgende Modellfälle durchgeführt:

Fixierte Abfälle aus LWR-Brennelementen (33.000 MWd/t, 30 MW/t, Produktzusammensetzung: Bitumen Mexphalt 15/NaNO₃ (50 Gew.% Salzgehalt) bzw. Portlandzement PZ 275/Alkalische Nitratlösung (ca. 9 Gew.% Salzgehalt), Produktdichte: 1,5 kg/l (Bitumenprodukte) bzw. 2 kg/l (Zementprodukte), Wasserstoffbildungsrate: $3 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^3 \text{ H}_2/\text{Mrad} \cdot \text{g Bitumenprodukt (2)}$ bzw. $0,2 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^3 \text{ H}_2/\text{Mrad} \cdot \text{g Zementprodukt (3)}$, Einlagerungsrate in der Kaverne: $500 \text{ m}^3/\text{a} = 2857 \text{ (175 l-Fässer)}/\text{a}$, betrachtete Einlagerungszeiten: 5 und 10 a (Bitumenprodukte) bzw. 10 a (Zementprodukte), Füllungsgrad der Kaverne nach 5 bzw. 10 a: $2.500 \text{ m}^3 = 25 \%$ bzw. $5.000 \text{ m}^3 = 50 \%$ des Kavernenvolumens.

Für die Berechnung wurden folgende konservative Annahmen gemacht:

- Die Kaverne ist ein völlig geschlossenes System, d.h. es finden keinerlei Austausch- oder Verdünnungsvorgänge zwischen der Kaverne und ihrer Umgebung statt.
- Der durch Radiolyse des Bitumens bzw. Zements entstehende Wasserstoff wird vollständig von den Abfallprodukten in die Kavernenatmosphäre freigesetzt.

Die Ergebnisse zeigen, daß mit steigender spezifischer Aktivität der Abfälle einerseits sowie mit zunehmendem Alter der Spaltprodukte in den fixierten Abfällen (bei gleicher spezifischer Aktivität) andererseits die Wasserstoffbildung in der Kaverne zunimmt. Über die Ergebnisse der Untersuchungen ist in (4) ausführlich berichtet. An dieser Stelle soll nur über die wichtigsten Ergebnisse berichtet werden.

In Tab. 2 und 3 sind für bituminierte und zementierte Abfälle die Grenzwerte der absorbierten Strahlendosis und der spezifischen Aktivität, bei denen sich unter den gemachten Voraussetzungen während der gesamten Lagerzeit in der Kaverne keine zündfähigen Gas/Luft-Gemische bilden, in Abhängigkeit vom Alter der Spaltprodukte in den fixierten Abfällen und dem Füllungsgrad der Kaverne angegeben. Die in Tab. 2 und 3 angegebenen Werte gelten für den Fall, daß in der Prototyp-Kaverne nur Bitumen- oder nur

Tabelle 2: Grenzwerte für die spezifische Aktivität und die integrale absorbierte Strahlendosis in den Bitumen/ NaNO_3 -Gemischen unter den Lagerbedingungen in der Prototyp-Kaverne (5).

Alter der fixierten Spaltprodukte (a)	Füllungsgrad der Kaverne (Vol.%)	Grenzwerte der spezifischen Aktivität (Ci/l)	Grenzwerte der absorbierten Dosis bis zum totalen Zerfall (rad)
0,5	25	0,9	3×10^7
1	25	0,5	3×10^7
2	25	0,3	3×10^7
0,5	50	0,3	1×10^7
1	50	0,16	1×10^7
2	50	0,1	1×10^7

Tabelle 3: Grenzwerte für die spezifische Aktivität und die integrale absorbierte Strahlendosis in den Zement/Alkalische Nitratlösung-Gemischen unter den Lagerbedingungen in der Prototyp-Kaverne (5).

Alter der fixierten Spaltprodukte (a)	Füllungsgrad der Kaverne (Vol.%)	Grenzwerte der spezifischen Aktivität (Ci/l)	Grenzwerte der absorbierten Dosis bis zum totalen Zerfall (rad)
0,5	50	4,5	$1,1 \times 10^8$
1,0	50	2,5	$1,1 \times 10^8$
2,0	50	1,5	$1,1 \times 10^8$

Zementprodukte eingelagert werden. Für den praxisnahen Fall, daß in der Prototyp-Kaverne sowohl bituminierte als auch zementierte Abfälle eingelagert werden, hängen die Grenzwerte für die spezifische Aktivität vom Volumenverhältnis der eingelagerten Zement- und Bitumenprodukte ab.

Tabelle 4 zeigt die Grenzwerte für die spezifische Aktivität in den Bitumen- und Zementprodukten, bei denen sich während der gesamten Lagerzeit in der Prototyp-Kaverne keine zündfähigen Gas/Luft-Gemische bilden, in Abhängigkeit vom Verhältnis des Füllvolumens der Zement- und Bitumenprodukte für 0,5 a alte fixierte Spaltprodukte und 50 % Füllungsgrad der Kaverne

Tabelle 4: Abhängigkeit der Grenzwerte der spezifischen Aktivität in den Bitumen/ NaNO_3 -Produkten und Zement/Alkalische Nitratlösung-Produkten vom Volumenverhältnis der eingelagerten Zement- und Bitumenprodukte in der Prototyp-Kaverne für 0,5 a alte Spaltprodukte und 50 % Füllungsgrad der Kaverne (5).

Füllvolumen-Verhältnis Zement/Bitumen	Grenzwerte der spezifischen Aktivität (Ci/l)
0	0,30
1/3	0,40
2/3	0,50
1/1	0,60
3/2	0,71
2/1	0,83
5/2	0,92
3/1	1,00

Die Ergebnisse zeigen, daß die Grenzwerte der spezifischen Aktivität für Zementprodukte (Zement/Nitratlösung) etwa um den Faktor 15 höher liegen als für Bitumenprodukte (Bitumen/ NaNO_3 mit 50 Gew.% Salzgehalt). Weiterhin geht aus den Untersuchungen hervor, daß die Endlagerung der z.Z. und in den nächsten 4-5 Jahren im Kernforschungszentrum Karlsruhe anfallenden mittelaktiven Abfälle mit einer mittleren spezifischen Aktivität von ca. 0,1 Ci/l (maximal 0,3 Ci/l) und einem Alter der Spaltprodukte in den Abfällen von ca. 0,5 a in der Prototyp-Kaverne als Bitumen- oder Zementprodukte keine Radiolyseprobleme verursachen wird.

Berechnungen zur Bestimmung der Wärmefreisetzung aus den bituminierten und zementierten Abfällen und der hierdurch auftretenden maximalen Temperatur in der Prototyp-Kaverne wurden in Angriff genommen.

6.6 Risikoanalytische Untersuchungen

Im Laufe des Jahres 1974 wurde im Rahmen der Systemstudie "Radioaktive Abfälle in der Bundesrepublik Deutschland" mit Arbeiten für eine risikoanalytische Untersuchung der Endlagerung radioaktiver Abfälle in Salzformationen begonnen. Im Rahmen der Systemstudie wurde ein Referenzsystem "Verfestigung von hochaktiven Abfällen aus Wiederaufarbeitungsanlagen" definiert, mit dessen Teilstudie "Endlager" sich die Arbeiten des Instituts für Tief Lagerung beschäftigen.

Zunächst mußte das Teilsystem "Endlager" in bezug auf den Ort und die angewandte Verfahrensweise näher definiert werden, was auf Schwierigkeiten stieß, da zur Zeit noch keine konkreten Planungen über ein Endlager für hochaktiven Abfall existieren. Obwohl nicht dafür vorgesehen, mußte das Salzbergwerk ASSE als Endlager für hochaktiven Abfall modellmäßig angenommen werden, da gegenwärtig nur dieses bereits als Endlager für schwach- und mittelaktive Abfälle genutzte ehemalige Salzbergwerk hinreichend bekannt ist, um risikoanalytische Aussagen zu ermöglichen.

Bedingt durch die Zusammensetzung und Behandlung der hochaktiven Abfälle ergeben sich für die risikoanalytische Betrachtung dieses Systems drei Zeitphasen:

1. Betriebsphase des Endlagers
2. 10^3 Jahre
3. 10^6 Jahre

Diese Einteilung wurde vorgenommen, weil die Fehlerereignisse, die während der einzelnen Zeitphasen eintreten können, unterschiedlich sind. Besonders die potentiellen Fehlerereignisse der Zeitphase "Betriebsphase" unterscheiden sich stark von denen der beiden anderen Zeitphasen. Dies ist dadurch bedingt, daß Fehlerereignisse aus dem Betrieb des Endlagers und der Verfahrensweise der Einlagerung in die Risikoanalyse mit eingehen und sogar bestimmend für den Fehlerbaum sind, während in den Fehlerbäumen der beiden anderen Zeitphasen Fehlerereignisse, die aus menschlichen Tätigkeiten entstehen, kaum vorhanden sind.

Ein weiterer Grund für diese Einteilung ist, daß in der Zeitphase " 10^3 Jahre" für eine mögliche Freisetzung radioaktiver Stoffe aus dem Endlager Spaltprodukte und Actiniden in die Berechnungen mit eingehen müssen, während für den Zeitraum " 10^6 Jahre" nur noch die Actiniden zu berücksichtigen sind, da die Spaltprodukte inzwischen bis auf ein ungefährliches Niveau zerfallen sind.

Im Berichtsjahr wurde damit begonnen, eine Systembeschreibung anzufertigen sowie für alle drei Zeitphasen Fehlerbäume aufzustellen. Dabei wurde die im Bericht "BNWL-1900" der Batelle Northwest Laboratories, Richland, Wash., dargestellte Symbolik verwandt, um eine Zusammenarbeit mit amerikanischen Institutionen zu erleichtern.

7. LITERATUR

- (1) G. STAUPENDAHL, Bericht über gebirgsmechanische Beobachtungen am Fahrweg im Abbau 7 der 490 m-Sohle des Salzbergwerkes ASSE II, GSF-interner Bericht, April 1974, unveröffentlicht
- (2) W. KLUGER in Jahresbericht der ADB 1971, KFK 1830, S. 7
- (3) W. KLUGER in Jahresbericht der ADB 1972, KFK 2000, S. 7
- (4) E. SMAILOS, W. COMPER, KFK 2076 in Vorbereitung
- (5) E. SMAILOS, W. DIEFENBACHER in Jahresbericht der ABRA 1974, KFK 2212

8. Veröffentlichungen

Klarr, K.

La structure geologique de la partie sud-est du Massif des Aldudes-Quinto Real (Pyrenees Occidentales)
Pirineos 111 (1974) 59-68
GSF - T 55

Kühn, K.

Endlagerung radioaktiver Abfälle
Kernenergie und Umwelt 1974, II
GSF - T 53

Pyrlik, M., W. Borchard, G. Rehage und E.-P. Uerpman

Untersuchungen über den Gelierungsvorgang in Lösungen von stereoregulären Polymethylmethacrylaten
Angew. Makromol. Chem. 36 (1974) 133-144
GSF - T 56

Staupendahl, G.

Zur Sicherheit der Auskleidung des Bohrschachtes ASSE 4 im Salinar, Gutachten für die Bergbehörde
März 1974, 22 S. mit einem Anhang von 26 S. und 25 Anlagen
GSF - T 54

Staupendahl, G., H. Borchert, K. Dürr und K. Kühn

Zur Standsicherheit des Salzbergwerkes ASSE II als Endlager für radioaktive Abfälle
GSF - Bericht T 51

Endlagerung radioaktiver Abfälle

Gemeinsamer Jahresbericht 1973 des Instituts für Tief Lagerung der GSF und der Abteilung Dekontaminationsbetriebe der GfK
GSF - Bericht T 52
KFK 2105

Kolditz, H., Albrecht, E., Schuchardt, M.C.

Beschreibung und erste Betriebserfahrungen von Transport und Endlagerung mittelradioaktiver Abfallstoffe.
Reaktortagung, Berlin, 2.-5. April 1974,
Deutsches Atomforum e.V., Kerntechnische Ges. im Dt. Atomforum e.V. Leopoldshafen 1974
ZAED. S. 297-300

Hagen, M., Hild, W., Kuehn, K.

Treatment and final disposal of radioactive wastes from fuel reprocessing in the Federal Republic of Germany. A survey on policy and R+D work.
Meeting of **the International Working Group on High-Level and Alpha-Bearing Wastes**, IAEA, Vienna, March 11-15, 1974

Krause, H., Starch, M.

Die Behandlung und Beseitigung radioaktiver Abfälle.
VDI-Zeitschrift, 116 (1974) S. 715-19

Albrecht, E., Kolditz, H., Kuehn, K., Thielemann, K.,
Schuchardt, M.C.

Planning of a prototype cavity for the disposal of intermediate-
level radioactive wastes near the ASSE salt mine.
Waste Management Research Abstracts, No 9 (1974) S. 60

Comper, W., Kluger, W., Hild, W.

Temperature profiles in salt caverns filled with bituminized
radioactive residues.
Waste Management Research Abstracts, No 9 (1974) S. 55-56

Bechthold, W.M., Diefenbacher, W., Schuchardt, M.C.,

Shipment of radioactive wastes from the Karlsruhe Nuclear
Research Center to the ASSE Salt Mine.
4. International Symposium on Packaging and Transportation
of Radioactive Materials, Miami Beach, Fla., September 22-27, 1974
AED-CONF-74-395-021
CONF-740901-P 2, S. 490-503